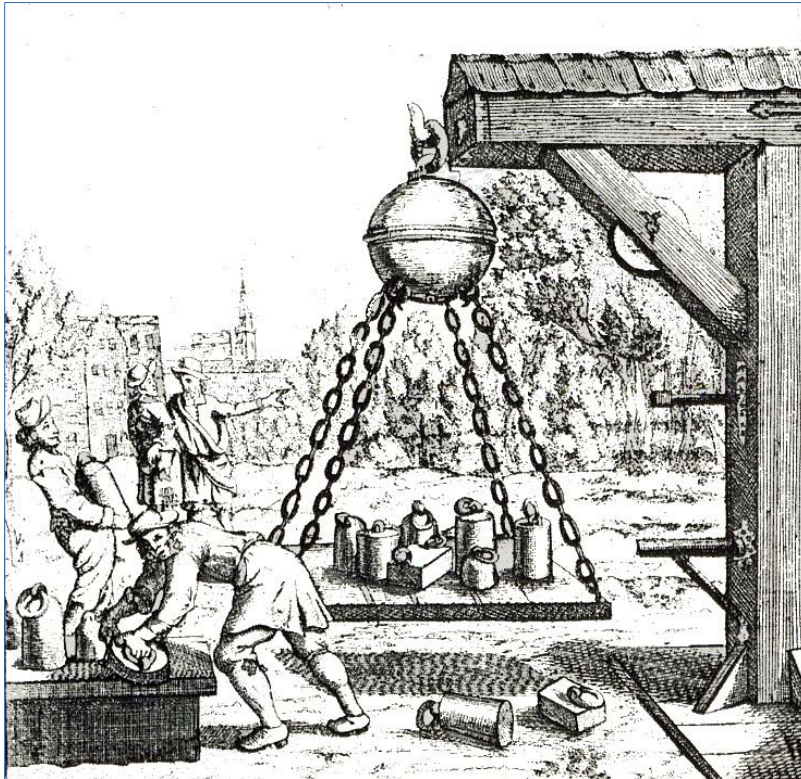


# 2.3



Experiencias de Otto de Guericke con los hemisferios de Magdeburgo



Experiencias de Otto de Guericke con los hemisferios de Magdeburgo

# LOS GASES

Las moléculas que constituyen los gases se encuentran en una situación notablemente distinta a la que presentan las partículas de los líquidos y sólidos. Esta situación produce en los gases las siguientes propiedades:

a) Las fuerzas de atracción que unas moléculas ejercen sobre las otras son prácticamente despreciables. Como consecuencia, las distancias que separan unas moléculas de otras son sumamente grandes en comparación con el tamaño de las mismas. Por ello la densidad de los gases es muy pequeña.

b) Debido a las mínimas atracciones entre las moléculas, éstas tienen total libertad de movimientos y se desplazan constantemente, de forma desordenada, a gran velocidad.

c) El gas tiende a ocupar todo el recinto que lo contiene. Por ello se dice que los gases son muy expansibles y carecen de volumen definido adaptándose a la forma del recipiente.

d) Las moléculas chocan unas con otras constantemente y con las paredes del recipiente, sin que esto suponga pérdida total de energía. Los choques contra el recipiente son la causa de la presión que el gas produce contra las paredes y el fondo de aquel.

e) La compresibilidad es una de las características más peculiares de los gases. Significa que, bajo el efecto de una presión externa, las moléculas del gas reducen al mínimo las distancias que las separan.

# LA ATMÓSFERA

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra. Comenzó a formarse hace unos 4600 millones de años, con el nacimiento de la Tierra. Su espesor no puede apreciarse exactamente, pero se calcula, por algunos fenómenos, que sólo tiene densidad apreciable hasta una altura de unos 70 u 80 Km.

La mezcla gaseosa que la forma se denomina **aire**; contiene diversos elementos gaseosos: *oxígeno* (20,95 %), indispensable para nuestra vida, cuyos efectos, que serían demasiado energéticos, están atenuados por el *nitrógeno* (78,08 %), el cual, además de esa función pasiva, desempeña otras importantes en los organismos animal y vegetal; *argón* (0,93 %) procedente de las rocas; *anhídrido carbónico* (0,03 %) elaborado continuamente por animales y vegetales; y además *vapor de agua*, *ozono*, *hidrógeno*, *metano*, *monóxido de carbono*, *helio*, *kriptón*, *xenón*, *diferentes óxidos de nitrógeno*, *azufre*, *partículas inorgánicas*, *pequeños organismos o restos de ellos*, *cloruro sódico del mar*, etc.

Un litro de aire normal pesa 1,293 gramos.

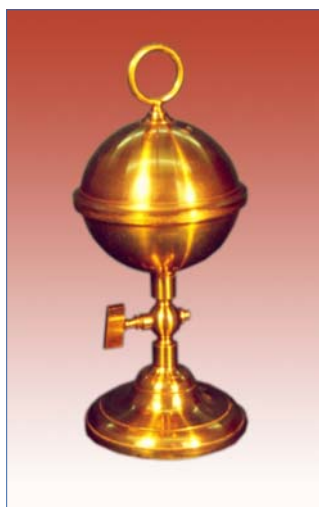
## PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El peso del aire determina sobre todos los cuerpos que están en contacto con él, una presión tanto mayor cuanto más próximos se hallen a la superficie terrestre, que actúa en todas direcciones determinando efectos análogos que las debidas al peso de los líquidos sobre los cuerpos en ellos y sobre la superficie de contacto. Esta presión, llamada *atmosférica*, comprimiendo el aire de las capas más bajas, aumenta su densidad y está equilibrada por su tensión; según la altura, varían ambas en la medida necesaria para la vida.

*Torricelli* evidenció la existencia de esta presión mediante un experimento célebre, efectuado en 1644, y que *Pascal* repitió en 1646. El descubrimiento de la presión atmosférica maravilló a los contemporáneos de *Torricelli* y a los físicos que estudiaron los efectos de esta presión. No es de extrañar, por tanto, que se repitieran los experimentos de *Pascal*, en una plaza de Rouen, “en presencia de 500 personas de toda clase y condición”, y que la llamada de los **hemisferios de Magdeburgo**, efectuada por *Otto de Guericke* atrajera a más de 10.000 espectadores.

Dos hemisferios huecos pueden adherirse exactamente entre sí. Se puede extraer el aire de la esfera que forman y mantenerla vacía gracias al tubo con grifo que posee uno de los hemisferios. La fuerza necesaria para separar los hemisferios puede alcanzar en tal caso un valor enorme. En 1654, *Otto de Guericke* enganchó 16 caballos, 8 a cada lado, a dos hemisferios de 40 cm de diámetro, y apenas si los dos tiros pudieron separar los hemisferios que, al apartarse uno de otro, produjeron una fuerte detonación. En cambio, si se dejaba entrar aire, podía separarse con facilidad.

Dadas las medidas de los hemisferios de Magdeburgo y el valor de la presión atmosférica, la fuerza que hay que aplicar a cada uno de los hemisferios para separarlos resultaba superior a 1.600 kg.



*Nº inv.: 02.3 / 82*  
*Fecha: 1875*  
*Fabricante desconocido*  
*Latón*  
*∅=10 cm h = 29 cm*

El experimento de *Torricelli* constituye, por el contrario, el medio más exacto de medición de esa presión al propio tiempo que suministra la *primera* y más sencilla prueba de la existencia de tal presión.

*Galileo*, al llamar la atención sobre el hecho, que le señalara el maestro fontanero de Florencia, de que no es posible elevar por atracción el agua a más de 10 metros, añadía que indudablemente ocurriría lo mismo con otros líquidos, como el mercurio, el vino, el aceite, etc., que debían cesar de subir en el tubo de una bomba a una altura mayor o menor de 10 metros, en proporción inversa de su densidad, midiendo siempre tales alturas según la vertical.

*Torricelli* calculó que con el mercurio la columna líquida debería ser de altura inferior a 80 cm. Tomó, para comprobarlo, un tubo de vidrio de esa longitud, cerrado por un extremo y abierto por el otro. Invertió el tubo, lleno de mercurio y tapado con el dedo, y le introduce en una cubeta de mercurio. En cuanto se quita el dedo, se ve que el mercurio comienza a bajar y la columna líquida, después de algunas oscilaciones, se fija a una

altura de 76 cm por encima del nivel del mercurio en la cubeta.

En la parte superior del tubo queda un espacio completamente vacío de materia. Además, conforme advirtió antes que nadie el autor de la experiencia, demostró la existencia de la presión atmosférica y da su valor.

*La presión atmosférica normal es la que equilibra una columna de mercurio de 760 mm de altura, a 0 °C de temperatura, y para la latitud de 45° al nivel del mar.*

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1,033 \text{ kp/cm}^2 = 1.013.373 \text{ dinas/cm}^2 = 1013 \text{ mb}$$

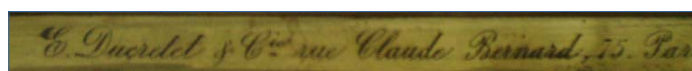
## BARÓMETRO DE FORTIN

El tubo de *Torricelli* permite conocer en todo instante el peso de aire que ejerce presión sobre la cubeta. De ahí el nombre de *barómetro* (de *βάρος*, peso) que se le ha dado.

Sencillo de apariencia, exige, sin embargo, algunas precauciones, cuando nos proponemos obtener un barómetro de corrección aceptable. El tubo ha de tener de 85 a 90 cm de longitud, unos 6 mm de diámetro interior por lo menos, limpieza absoluta, someter a ebullición parte del mercurio, etc. Todo esto hace que sea de difícil transporte y manejo.

Un aparato más manejable es el **barómetro de Fortin**, de nivel constante, y que permite mediciones muy exactas. *Jean Nicolás Fortin* (1750-1831).

Está formado por un tubo, como el de *Torricelli* que se introduce en el mercurio contenido en una cubeta de vidrio, provista de una base de piel de gamuza cuya forma puede ser modificada por medio de un tornillo. Es posible ver la superficie libre del mercurio y lleva fijo a la armadura un índice cónico de marfil. Antes de efectuar la medición se ajusta el instrumento, subiendo o bajando el fondo de la cubeta y enrasando el nivel de mercurio con el índice. El barómetro está totalmente recubierto de latón, salvo dos ranuras verticales junto al tubo que permiten ver el nivel de mercurio. En la ranura frontal hay una graduación en milímetros y un nonius para la lectura de décimas de milímetros. En la posterior hay un pequeño espejo para facilitar la visibilidad del nivel. Al barómetro va unido un termómetro.



*Nº inv.: 02.3 / 83*

*Fecha: 1875*

*Fabricante: E. Ducretet y Cía (Paris)*

*Latón y vidrio*

*53 x 53 x 134 cm*



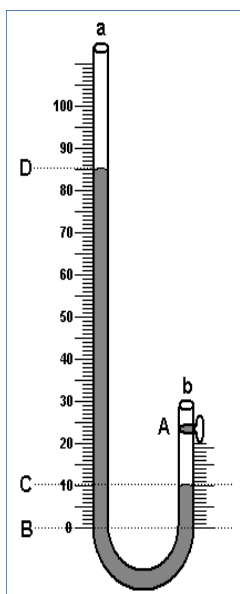
## COMPRESIBILIDAD DE LOS GASES

El volumen de una masa dada de gas varía al variar la presión y la temperatura de ese gas.

El estudio experimental de la compresibilidad de los gases a temperatura constante lo realizó el abate *Mariotte*: “Los volúmenes ocupados por una misma masa de gas a temperatura constante, están en razón inversa de las presiones que soporta”.

Esta ley se suele designar con el nombre de *Ley de Boyle-Mariotte*, aunque fue descubierta por el inglés *Boyle*, en 1661; las experiencias de *Mariotte* en Francia, sobre el mismo asunto, se verificaron en 1676.

Este enunciado sólo es aplicable a los gases perfectos; pero en condiciones ordinarias, para presiones poco diferentes de la normal, se puede admitir, con gran aproximación.

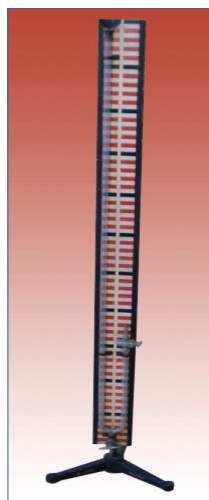


Para la verificación de esta ley se suele utilizar el llamado **tubo de Mariotte**. Consiste en un tubo en forma de U sujeto a un soporte vertical con una escala; tiene una rama larga *a* y otra corta *b*, ambas abiertas, pero la última provista de una llave *A* que permite cerrarla. Teniendo abierta ésta, se introduce mercurio en el tubo hasta que el líquido queda en las dos ramas al nivel del cero de la escala. Después se cierra la llave *A*, con lo cual la masa contenida en el espacio *AB* queda encerrada. esta masa está sometida a la presión atmosférica que hay en ese momento; supongamos que fuera de 720 mm. Se echa mercurio en la rama izquierda hasta que el aire que hay en la derecha haya quedado reducido a la mitad de su volumen, por la presión del mercurio; es decir, hasta que ocupe solamente el espacio *AC*. Para conseguirlo, hay que echar mercurio en la otra rama hasta la altura *D*, y midiendo esta altura desde el nivel *C* resulta que es también de 720 mm.

La presión a la que está sometido ahora el aire es, por tanto, la presión atmosférica aumentada en la presión de 720 mm de mercurio, o sea el doble de la presión primitiva. De manera que cuando la presión es doble, el volumen del aire que está sometido a ella se reduce a la mitad. Esta ley es aplicable a todos los gases.



Nº inv.: 04 / 85  
Número de ejemplares: 2  
Fecha desconocida  
Fabricante: Sogeresa  
Madera y vidrio  
25 x 25 x 123 cm



Nº inv.: 04 / 85 bis  
Fecha desconocida  
Fabricante: Sogeresa  
Madera, metal, papel y  
vidrio  
25 x 25 x 123 cm

La ley de Boyle-Mariotte se ha aplicado en la construcción de aparatos destinados a medir la presión. Los manómetros son aparatos destinados para medir la presión de gases y líquidos. Los más empleados son los **manómetros metálicos**, que se basan en las propiedades elásticas de los metales. Para las aplicaciones industriales se utiliza el manómetro de *Bourdon*, que resulta muy cómodo aunque no muy exacto.

Su fundamento es el mismo del barómetro de Bourdon: un extremo (abierto) de un tubo, comunica por medio de una armadura metálica, provista de llave, y susceptible de fijarse convenientemente, con el depósito de gas o vapor; el otro extremo, cerrado y libre, actúa sobre el eje de la aguja exterior, merced a una palanca articulada. Cuando varía la presión dentro del tubo, varía su curvatura, y el extremo libre hace girar la aguja, en uno u otro sentido, sobre una escala graduada en atmósferas.



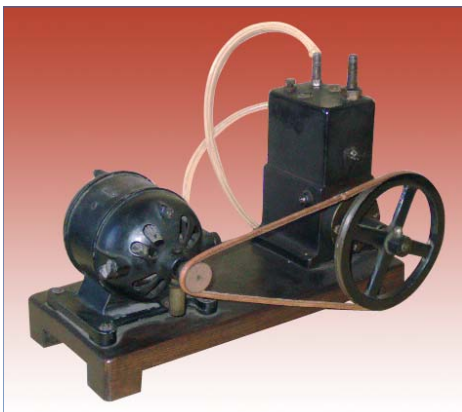
*Nº inv.: 02.3 / 86  
Fecha: 1875  
Fabricante: Breveté (París)  
Metal, madera y vidrio  
14 x 5 x 35 cm*

## MÁQUINA NEUMÁTICA

En 1650, *Otto de Guericke*, inventa la bomba del aire, que creaba un vacío parcial. Utilizó sus bombas para estudiar vacíos y el papel del aire en la combustión y la respiración.

La parte esencial de una bomba, lo constituye un recipiente de superficie interior cilíndrica, dentro del cual se puede mover desde fuera un émbolo o pistón, dividiéndole en dos compartimientos, cuyos volúmenes variarán con la posición de aquél, llegando a anularse uno u otro cuando el pistón esté en contacto con una u otra de las bases del recipiente. El émbolo, en éstos y otros aparatos, suele ser un cilindro macizo de metal, recubierto de cuero y engrasado, para disminuir el rozamiento y ajustarse a la pared del recipiente, impidiendo el paso del gas de uno a otro compartimiento.

El conjunto de recipiente y émbolo, dispuesto que pueda comunicar, cuando convenga, con el exterior, forma lo que se denomina *cuerpo de bomba*. Las bombas se clasifican en bombas de *efecto simple* y bombas de *doble efecto*, según sea el número de compartimientos del cuerpo de bomba de los que se quiere extraer el aire.



*Nº inv.: 02.3 / 87  
Fecha: 1875  
Fabricante: Era (Francia)  
Material Pedagógico Moderno. CULTURA  
Madera, hierro, cuero y plástico*

Las más utilizadas en los laboratorios, por su sencillez son las de *tipo Bianchi*. Consta de un cuerpo de bomba de doble efecto, en donde los dos compartimientos variables que determina el pistón pueden comunicar, alternativamente, con las ramas que se bifurca un tubo, unido por otro de goma, resistente, con el recipiente de donde se extrae el gas; este tubo se llama de *aspiración*.



Nº inv.: 04 / 88  
Fecha desconocida  
Fabricante: Max Kohl,  
Chemnitz  
Metal, vidrio y cuero  
 $\Phi = 16 \text{ cm}$   $h = 40 \text{ cm}$



Nº inv.: 02.3 / 89  
Fecha desconocida  
Fabricante  
desconocido  
Latón y vidrio  
 $\Phi = 17 \text{ cm}$   $h = 54 \text{ cm}$   
cm

Generalmente su aplicación más corriente es la de extraer el aire de un recipiente. Dicho recipiente puede ser una campana de vidrio que se coloca sobre una plataforma metálica, llamada *platina*, de suficiente estabilidad y cubierta de vidrio bien plano, en cuyo centro hay un orificio por donde puede pasar el aire al tubo procedente del cuerpo de bomba. Para favorecer el ajuste de la campana, se interpone entre ella y la platina una lámina delgada de caucho. Una llave, permite la entrada del aire en el tubo de aspiración cuando se desee restablecer el estado primitivo; y una *probeta o barómetro truncado*, que puede intercalarse entre tubo y platina, permite medir la presión y apreciar el grado de vacío alcanzado.

